

Ação a Distância e a Lei da Gravitação

Elaine Maria Paiva de Andrade¹

¹Centro de Ciências e Tecnologia - Centro Universitário Serra dos Órgãos, Teresópolis,
RJ, Brasil

Programa de Pós-graduação em História da Ciência e das Técnicas e Epistemologia –
HCTE, Universidade Federal do Rio de Janeiro –UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil

elainemariapandrade@gmail.com

Action at a Distance and Law of Universal Gravitation

Abstract. *Why do bodies fall down? This question might seem strange, at first. It's evident that things should fall down, as you might be thinking! However, let's think a little bit more about it! Doesn't the idea of a force that acts instantly and at a distance between any two bodies sound somehow magic? How can a body act upon another from a distance, with no contact between them? This text presents some interesting questions about Newton's Law of Gravitation that, very likely, will influence your perception about the world and science.*

Keywords: Law of Universal Gravitation, Action at a Distance and Hypotheses Non Fingo.

Resumo. Por que os corpos caem para baixo? Esta pergunta, em um primeiro momento, pode parecer estranha. É óbvio que as coisas devem cair para baixo, você deve estar pensando! Mas vamos lá, vamos pensar um pouco mais sobre isso! A ideia de uma força que age instantaneamente e à distância entre dois corpos quaisquer não lhe parece algo meio mágico? Como pode um corpo agir sobre o outro à distância, sem nenhum contato entre eles? Este texto apresenta algumas questões interessantes sobre a Lei da Gravitação de Newton que, muito provavelmente, irão influenciar sua percepção do mundo e da ciência.

Palavras-chave: Lei da Gravitação, Ação a Distância e Hipóteses Não Faço.

E então, você já tem uma resposta para nossa questão de: *Por que os corpos caem para baixo?*

Pois é, a “culpa” disso acontecer, de acordo com a interpretação da Lei da Gravitação Universal elaborada por Isaac Newton ainda no século XVII é que: matéria atrai matéria, à distância e instantaneamente, em um espaço vazio. Contudo, pasmem! Nem o próprio Newton acreditava nessa “mágica”! Quando tentaram associar a ideia de uma ação à distância à sua Lei da Gravitação, ele escreveu uma carta ao Prof. Richard Bentley, um filósofo inglês, do Trinity College em Cambridge em que dizia:

É inconcebível que a matéria bruta, inanimada, opere sem a mediação de alguma outra coisa, não material, sobre outra matéria e a afete sem contato mútuo [...] E é por essa razão que desejei que você não atribuísse a gravidade inata a mim. Que a gravidade devesse ser inata, inerente e essencial à matéria, de modo que um corpo pudesse atuar sobre outro a distância, através de um vácuo, sem a mediação de qualquer outra coisa, por cujo intermédio sua ação e força pudesse ser transmitida de um corpo a outro, é para mim um absurdo tão grande que eu acredito que nenhum homem dotado de uma faculdade de pensamento competente em questões filosóficas jamais possa cair nele. (NEWTON, in: COHEN & WESTFALL, 2002)

Na elaboração de sua teoria, Newton fala sobre *algo* que preenche esse vazio, *algo* que ele chamou de - *o espaço absoluto* - uma substância não material, não perceptível aos sentidos, mas que, contudo, causa um efeito perceptível em corpos em movimento circular.

Você consegue imaginar alguma coisa assim?

Pois é, mas Newton justificava que objetos em movimento circular uniforme ficam sujeitos a uma força em direção ao centro da curva. Apesar de sua velocidade escalar ser constante, o objeto muda sua direção e sentido, e para que isso ocorra, deve existir uma força em direção ao centro, se não for assim, ele não consegue fazer a curva. Ao fazermos esta análise, dizemos que estamos em um referencial inercial, ou seja, estamos “parados” em relação ao solo descrevendo o movimento que estamos visualizando. Mas para entender melhor que força seria essa, vamos usar de outra estratégia. Vamos lembrar o que acontece quando estamos dentro de um ônibus em movimento uniforme, ou seja, com velocidade escalar constante, e este faz uma curva. Nesse caso, estamos num referencial não inercial, existe aqui uma variação na direção e sentido da velocidade. Inevitavelmente sentimos a ação de uma força que nos empurra para “fora”. Essa força é chamada de centrífuga e possui mesmo módulo e direção da centrípeta, porém, sentidos opostos. Esse seria um exemplo do efeito do *espaço absoluto* sobre os objetos, de acordo com Newton.

Outra experiência também bastante interessante sobre tal efeito é a do “balde girante”. Ao girar um balde com água em movimento circular uniforme, a água que ali se encontra fica sujeita a uma força que a impulsiona em direção às paredes do balde. Esta força é da mesma natureza a que nos referimos no caso do ônibus em movimento. E, neste caso, fará com que nenhuma gota de água caia do balde! Experimente fazer!

Isto nos leva a inferir que o “vazio” ao qual Newton se referia, era preenchido por “alguma coisa” que torna a ação de um corpo sobre o outro uma ação que se propaga em um contínuo. Seria um *espaço* onde os objetos estariam imersos nessa substância não material e não perceptível aos sentidos. O espaço vazio de Newton estaria, então, “cheio” de uma substância real, contudo, desconhecida.

Com o desenvolvimento matemático e físico existente no final do século XVII, época em que Newton escreveu uma de suas obras mais importantes - *Principia* – em que apresenta a Lei da Gravitação Universal, a possibilidade na natureza de velocidades tão elevadas quanto se quisesse supor não era considerado um problema. Não se conhecia ainda o limite da velocidade da luz. Assim, não havia nenhuma inconsistência física em se propor uma interação instantânea entre dois corpos. O maior problema estaria mesmo na questão da propagação da ação de um corpo sobre outro sem o contato entre eles, em um espaço vazio.

Newton, em sua teoria da Gravitação Universal, se recusou a conjecturar uma possível causa para a gravitação dizendo “*hypotheses non fingo*” (Hipóteses Não Faço!). Em uma interpretação dessa teoria, particularmente de seus aspectos metafísicos e metodológicos, Kant (1724 – 1804), um importante filósofo alemão coloca que “é impossível exigir que a possibilidade de forças fundamentais seja tornada compreensível; elas são chamadas fundamentais porque não podem ser derivadas de qualquer outra, ou seja, não podem ser compreendidas”.¹ Kant identificou as forças atrativas e repulsivas como forças fundamentais da matéria. Em outras palavras, Kant nos diz que existem coisas que não conseguimos entender e, dentre elas, está essa “ação a distância” entre os corpos ou objetos².

Mas afinal, você deve estar se perguntando, o que diz essa Lei da Gravitação e o que ela tem a ver com os corpos caírem para baixo?

Ela diz que todo corpo exerce uma ação sobre outro corpo, atraindo-o com uma força que é proporcional à massa de cada um, e varia inversamente com o quadrado da distância entre eles. Matematicamente, essa afirmação pode ser escrita da seguinte forma:

$$F = G Mm / r^2$$

onde, *M* e *m* representam as massas dos corpos, *r* a distância entre eles, e *G* a constante da Gravitação Universal, igual a $6,6734 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$.

Pense então no que acontece quando uma maçã cai da macieira! Maçã e Terra se atraem em cumprimento à Lei da Gravitação! E assim acontece com todos os corpos! Como a massa do nosso planeta – a Terra – é muito maior do que a da maçã ou qualquer outro objeto existente em nosso planeta, todos são “puxados” à distância, sem contato mútuo, para o chão! Ou seja, o que “enxergamos” é a Terra “puxando” os objetos em direção a ela!

¹ KANT, 1786

² ANDRADE, Elaine Maria Paiva de, Ação a Distância e Não-Localidade, Tese (doutorado) – IQ/UFRJ/HCTE, Programa de Pós-graduação em História da Ciência e das Técnicas e Epistemologia, 2009.

Mas essa história é um pouco mais longa! Vamos conhecer um pouco dela!

Do século II ao início do século XVI, a ideia de que a Terra ocupava imóvel o centro do universo e os demais astros giravam ao seu redor servia de sustentação para

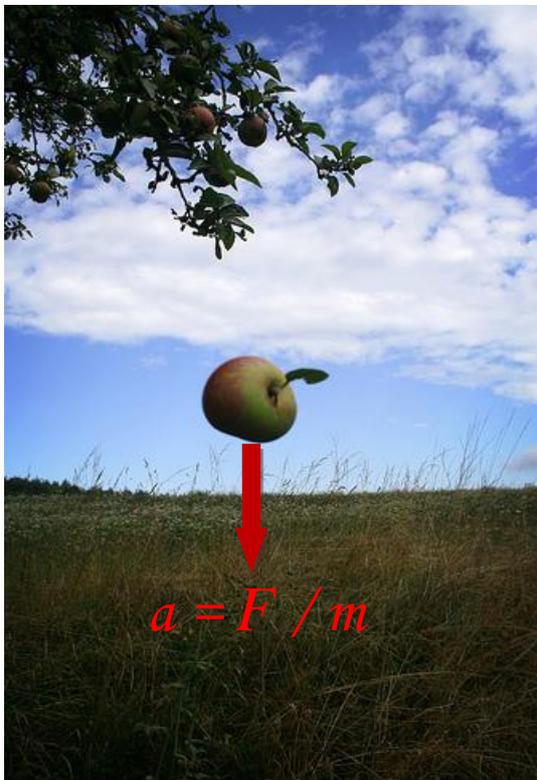


Figura 1. Proporcionalidade entre Força aplicada e aceleração.

questões morais e científicas do homem do Ocidente. Não obstante, em 1510, o astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) perturbou a ordem estabelecida ao apresentar sua hipótese heliocêntrica, ou seja, o Sol no centro do Universo. Aceitar o sistema copernicano implicava mudanças significativas; não só religiosas, mas também para a explicação de fenômenos já fundamentados pela ciência aristotélica. O movimento dos astros deixava de estar ligado ao primeiro motor, passando a depender da distância dos planetas em relação ao Sol. Retirar a Terra do centro do Universo implicava uma revisão na física aristotélica. Era preciso admitir que a Terra, através de algum princípio, assumia sua própria gravidade. Essa questão não era simples, Copérnico não conseguiu estabelecer um conceito de gravidade que explicasse essa queda dos corpos³.

que ocupava o centro do Universo com os planetas girando ao seu redor. Para Tycho Brahe (1546-1601), um astrônomo dinamarquês, esses debates sobre o movimento dos planetas poderiam ser melhor entendidos se se conhecesse as posições reais dos planetas no céu com precisão. Em 1572, observou uma nova estrela no céu e comparou sua observação com a de outros astrônomos, em diferentes locais, concluindo que ela estava muito além da Lua. Esta conclusão ia contra a concepção aristotélica de que o céu era imutável. Alguns anos mais tarde, em 1577, em seu observatório na ilha de Hven, perto de Copenhague, observou um grande cometa. Mais uma vez concluiu que não só se localizava além da Lua, como também que atravessaria os *orbes planetários*, de tal forma que as supostas *esferas cristalinas* da ciência aristotélica não poderiam existir. Trabalhando intensivamente, construiu tabelas com as posições dos planetas durante vários anos.

Nessa época ocorriam grandes debates sobre se era afinal o Sol ou a Terra que ocupava o centro do Universo com os planetas girando ao seu redor. Para Tycho Brahe (1546-1601), um astrônomo dinamarquês, esses debates sobre o movimento dos planetas poderiam ser melhor entendidos se se conhecesse as posições reais dos planetas no céu com precisão. Em 1572, observou uma nova estrela no céu e comparou sua observação com a de outros astrônomos, em diferentes locais, concluindo que ela estava muito além da Lua. Esta conclusão ia contra a concepção aristotélica de que o céu era imutável. Alguns anos mais tarde, em 1577, em seu observatório na ilha de Hven, perto de Copenhague, observou um grande cometa. Mais uma vez concluiu que não só se localizava além da Lua, como também que atravessaria os *orbes planetários*, de tal forma que as supostas *esferas cristalinas* da ciência aristotélica não poderiam existir. Trabalhando intensivamente, construiu tabelas com as posições dos planetas durante vários anos.

Tycho Brahe não aceitava a teoria de Copérnico. Para ele, se a Terra se movimentasse como proposto no modelo heliocêntrico haveria a possibilidade de se medir a paralaxe estelar, ou seja, a aparente mudança espacial dessa estrela causada pela mudança de posição da Terra. No entanto, em suas observações, não conseguia determinar qualquer paralaxe. Modificou então o sistema Ptolomaico, aproveitando as

³ BRAGA, GUERRA & REIS, 2004, p.72

medições de distâncias planetárias de Copérnico, e construiu um sistema próprio com a Terra no centro, a Lua orbitando mais próxima e, em seguida, o Sol, com todos os outros planetas girando ao seu redor, e não ao redor da Terra!⁴

Após a morte de Tycho Brahe, suas tabelas e teorias foram estudadas por seu assistente, o matemático alemão Johannes Kepler (1571-1630). Kepler, além de grande matemático, foi também um grande místico que acreditava na *harmonia da natureza*. Para ele a estrutura do Universo era de natureza matemática, o que o fazia crer que os mistérios do cosmos poderiam ser desvelados pela mesma. No início de suas pesquisas sobre o movimento dos corpos celestes, trabalhou com dois pressupostos aristotélicos: o do círculo como a forma perfeita, o que o levou a inferir que esta deveria ser a trajetória dos corpos celestes, e a ideia de que os planetas se moviam com velocidades constantes em suas trajetórias.

Kepler aceitava o heliocentrismo de Copérnico. Em seu livro *Mysterium Cosmographicum*, de 1596, buscou explicar o porquê das distâncias planetárias terem os valores que tinham, segundo o cálculo de Copérnico. Como acreditava que a estrutura do Universo era de natureza matemática, construiu a ideia de que as órbitas dos seis planetas conhecidos na época deveriam estar associadas aos cinco poliedros regulares. Essa hipótese ia ao encontro de sua crença na *Harmonia do Mundo*. Não seria por acaso a existência de exatamente seis planetas e somente cinco poliedros regulares. A órbita mais externa, de Saturno, teria inscrito em si um cubo, que teria inscrito em si a esfera de Júpiter, seguido de um tetraedro, esfera de Marte, dodecaedro, esfera da Terra, icosaedro, esfera de Vênus, octaedro e esfera de Mercúrio conforme a figura 2. As medições astronômicas se aproximavam dessa teoria.

Após anos de estudos, Kepler concluiu que nem o modelo de Tycho nem o de Copérnico correspondiam ao resultado por ele obtido em seus estudos. Desconstruiu a hipótese das *esferas cristalinas* e, concentrando-se em estudos sobre Marte, concebeu a órbita real dos planetas supondo circular a órbita de Marte.

⁴ PESSOA, 2004.

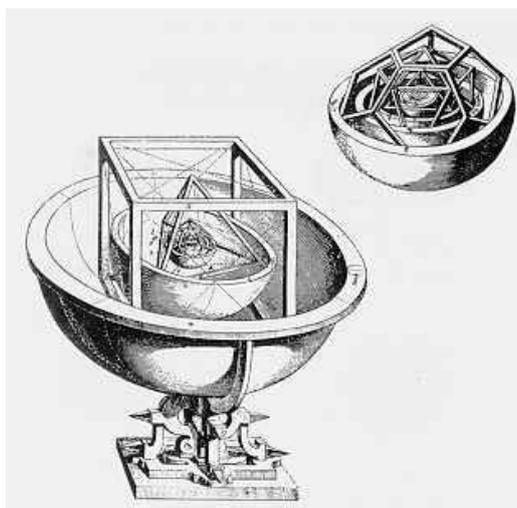


Figura 2. Modelo astronômico de Kepler (1695), com seis esferas planetárias encaixadas em poliedros regulares.

Encontrou, porém, erros de oito minutos de arco concluindo que tal movimento não seria uniforme. Voltou, a partir de então, sua atenção para a órbita da Terra, chegando à chamada *lei das velocidades*, segundo a qual a velocidade v da Terra seria inversamente proporcional à sua distância R do Sol: $v \propto 1/R$. Newton mostrará mais tarde que esta lei é errônea.

Enquanto Kepler prosseguia em busca da *Harmonia dos Mundos*, outro personagem contribuía também, fortemente, para o salto *mágico* dado por Newton. Esse personagem foi Galileu Galilei (1564-1642) que, na mesma época de Kepler, estudava o movimento dos corpos tanto na superfície da Terra como em queda livre. Em relação ao movimento dos corpos terrestres, Galileu fez importantes modificações em relação à ciência aristotélica, como por exemplo, a da ideia de que o movimento dos corpos se dá em busca de seu lugar natural. Através de argumentos lógicos e descrição de experiências, Galileu mostrou que corpos de massas diferentes, livres da resistência do ar, caíam ao mesmo tempo se abandonados da mesma altura. O movimento deixa de ser uma essência dos corpos; nenhum corpo seria móvel ou imóvel, mas estaria em movimento ou em repouso em relação a outros corpos.

Outra importante contribuição de Galileu para a compreensão das leis de Kepler foi o *conceito de inércia*. Antes de Galileu, acreditava-se que um corpo só permanecia em movimento sob a ação de uma força, o repouso seria o seu estado natural. Galileu, entretanto, foi contrário a essa ideia do movimento ser um estado necessariamente *forçado*⁵. Para ele, os corpos possuem uma tendência natural em manter o seu estado de repouso ou de movimento, essa tendência seria uma propriedade intrínseca à matéria por ele denominada de *inércia*. Assim, devido à *inércia*, todo corpo em repouso tende a permanecer em repouso, e todo corpo em movimento tende a permanecer em movimento. Seguindo esse caminho, Galileu se voltou para o estudo matemático do movimento dos corpos, mas importa ressaltar que a questão de *o que faz os corpos se*

⁵ FEYNMANN, op.cit.

moverem, continuava em aberto. Em 1604, Galileu elabora a lei da queda livre dos corpos, fundamental para todo o desenvolvimento posterior da mecânica racional.

Em sua obra *Diálogo sobre os Dois Maiores Sistemas*, publicada em 1632, Galileu confronta as ideias de Ptolomeu, segundo o qual a Terra seria estática e o Sol giraria em torno dela, com as de Copérnico, que afirmava exatamente o contrário. Essa publicação veio a lhe custar a convocação do Tribunal do Santo Ofício. Sobre esse acontecimento existem versões muito diferentes, às vezes contraditórias, mas o fato é que Galileu continuou a viver e, em 1638, publicou clandestinamente *Discurso a Respeito de Duas Novas Ciências*, considerada a obra mais madura por ele escrita, em que recapitula os resultados de suas primeiras experiências e acrescenta algumas reflexões sobre os princípios da mecânica.

Com uma nova maneira de abordar os fenômenos da natureza, Galileu estruturou todo o conhecimento científico da época abalando os alicerces que fundamentavam a concepção medieval de mundo. Desconstruiu a ideia de que o mundo possui uma estrutura finita, hierarquicamente organizada, construindo a visão de um universo aberto, indefinido e de movimento eterno. Mostrou, finalmente, que “o livro da natureza está escrito em caracteres matemáticos; sem um conhecimento dos mesmos, os homens não poderão compreendê-lo”⁶.

Com isso, os trabalhos de Tycho Brahe, Kepler e Galileu, ao longo dos séculos XVI e XVII, permitiram visualizar o início de profundas modificações em relação à visão de mundo medieval na física nascente. Isso não significava, contudo, que as influências metafísicas tinham sido eliminadas. Havia em Newton um princípio filosófico que o aproximava da concepção que acreditava na existência de agentes imateriais na natureza e que estabelecia a primazia do espírito sobre a matéria no Universo. Essa concepção ia de encontro aos duros contornos da concepção mecanicista observada naquela época. Os primeiros registros de Newton, em torno de 1664, constam em um caderno que ele próprio intitula *Quaestiones quaedam philosophicae* (*Algumas questões filosóficas*). Suas reflexões, registradas nesse caderno, vão ao encontro de uma nova leitura da filosofia natural, constituindo-se como primeiro passo na carreira científica de Newton⁷.

Em sua obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*), cuja primeira edição foi em 1687, ele apresentou os fundamentos de seu trabalho. No terceiro livro, aplicou sua teoria para a descrição detalhada do sistema solar, mostrando que a lei da gravitação é a mesma para as luas de Júpiter, para os planetas em torno do Sol e para um corpo caindo na superfície da Terra. Apresentou sua lei da força de atração gravitacional, em que corpos materiais agem à distância um sobre o outro sem, no entanto, fazer qualquer hipótese acerca da causa dessa atração. Utilizando-se da força de interação gravitacional entre dois corpos, mesmo sem entender de que maneira essa força se propagava de um corpo para outro, era possível explicar diversos fenômenos que não poderiam ser entendidos sem ela. Por esse motivo, tornava-se conveniente aceitar a “ação a distância” de um corpo sobre o

⁶ GALILEU, in: “Os Pensadores” (1978), pp.93-98

⁷ ANDRADE, Elaine Maria Paiva de, *Ação a Distância e Não-Localidade*, Tese (doutorado) – IQ/UFRJ/HCTE, Programa de Pós-graduação em História da Ciência e das Técnicas e Epistemologia, 2009. Rio de Janeiro: UFRJ/IQ.

outro na filosofia natural. Ao elaborar sua Lei da Gravitação, ou seja, a Lei que diz que *matéria atrai matéria*, Newton se encontrava imerso em seus trabalhos de alquimia.

Essa é uma história que vale a pena saber!

Na forma final de seu Livro III dos *Principia*, Newton afirma que as atrações entre os corpos “*provêm da natureza universal da matéria*”. No entanto, insistia em distinguir a demonstração matemática que deveria existir para essa atração, da especulação sobre a natureza dessa atração. Em 1713, na publicação da segunda edição dos *Principia*, Newton escreve um posfácio intitulado Escólio Geral, em que faz o seguinte comentário:

Até hoje, entretanto, não pude descobrir a causa dessas propriedades da gravidade dos fenômenos, e não invento hipóteses (hypotheses non fingo); pois o que quer que não seja deduzido dos fenômenos deve ser chamado de hipótese, e as hipóteses, sejam elas metafísicas ou físicas, de qualidades ocultas ou mecânicas, não têm lugar na filosofia experimental. [...] E, para nós, basta que a gravidade realmente exista, e aja de acordo com as leis que explicamos, e sirva abundantemente para esclarecer todos os movimentos dos corpos celestes e de nossos mares. (NEWTON in: COHEN & WESTFALL, 2002, pp. 154-5)

Newton fazia frequentes menções a Deus em seus trabalhos. Para ele, Deus não era apenas um mero engenheiro construtor do mundo que, após colocá-lo em movimento, poderia se retirar. Ao contrário, Deus atuava o tempo todo no mundo, constituindo um “absoluto” em que os eventos iriam se desenrolando⁸. Esse “espaço absoluto”, essa ubiquidade, foi por ele chamado de *Sensorium Dei* (sentido de Deus).

Seja como for, o newtonianismo, desenvolvido a partir do século XVIII, adotou como certa a existência de forças agindo à distância, acreditando que tentar explicar essas forças através de modelos mecânicos seria inútil e até mesmo, indesejável. É fato que os corpos se atraem mutuamente agindo uns sobre os outros (ou, pelo menos, comportam-se como se o fizessem). Mas, *como* isso acontece, “superando o hiato do vazio que os separa e os isola radicalmente uns dos outros, ninguém, nem mesmo Newton, era ou é capaz de explicar ou compreender esse como.”⁹.

Aliás, “explicar” o que na prática é obtido nunca foi uma tarefa trivial para a ciência. Ao contrário, em alguns momentos parece necessário abirmos mão de certa dose de realismo. Somos levados a pensar que teorias são simplesmente teorias, formulações humanas, que buscam explicar uma possível realidade externa sem necessariamente ter que possuir identidade com a mesma. Ao que tudo indica, a realidade é refratária. Hoje, não sabemos se estamos realmente em contato com uma possível realidade, ou mesmo se podemos aspirar a tanto.

A ciência moderna, a partir de Galileu, propôs explicar *como* as coisas acontecem, abandonando os “por quês” e “para quês” característicos da física aristotélica. Dessa forma, das descobertas feitas até Newton nasceu um universo em que parecia não existir nada na natureza que não pudesse ser descrito experimentalmente, ou através de um modelo, ou ainda pelas leis da mecânica de Newton.

⁸ BRAGA, GUERRA & REIS, 2004, p.119

⁹ KOYRÉ, “O significado da síntese newtoniana”, in: COHEN & WESTFALL, 2002.

A concepção de um espaço e tempo absoluto permaneceu até o início do século XX. Em Newton, o tempo era “absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e por sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com qualquer coisa externa”¹⁰, e também, o espaço era “absoluto, em sua própria natureza, sem relação com qualquer coisa externa, permanece sempre similar e imóvel”¹¹. Com base em tais preceitos, a mecânica newtoniana unificou a física celeste e a terrestre por meio de leis do movimento. E assim, até início do século XIX, as leis da mecânica pareciam explicar satisfatoriamente os fenômenos da natureza sem, contudo, assumir a “ação a distância” entre os corpos como algo possível de acontecer.

Newton, ao propor uma ação à distância em sua Lei da Gravitação, inferindo que matéria atrai matéria, jamais tornou este espaço vazio no sentido *strictu* da palavra. Ao contrário, apresenta em diversos textos sua crença na impossibilidade de que a “matéria bruta inanimada (sem a mediação de outra coisa que não seja material) aja sobre outra matéria e a afete, sem haver contato mútuo” (NEWTON, 1692/3). Nos textos de Newton, é clara, também, sua resistência em explicar a “causa” de matéria agir sobre matéria à distância. Diz, no entanto, que o “efeito” dessa ação é a força gravitacional. A colocação de que a “matéria em si” em um espaço vazio é a responsável pela força de atração entre os corpos, apesar de quase hegemônica, é apenas uma das possíveis interpretações de sua teoria.

A ciência é feita por homens e, como tal, traz em si as marcas de uma construção, de um processo em que é permitido ir e vir. Na Conferência *Éter e a Teoria da Relatividade Geral*, Einstein coloca:

Não, não é nem um pouco necessário só usar na ciência aquilo que se pode medir e observar; a física não é feita assim e nem se deve tentar fazer isso. Você pode introduzir na física coisas que não possam ser observadas e a única coisa importante é que sua teoria tenha conseqüências observáveis, mas não que cada coisa da sua teoria tenha que ser observada e medida. (EINSTEN, 1920)

Por mais estranho que possa parecer, o problema da ação à distância newtoniana só existe se você retira o espaço absoluto como um meio de interação entre os corpos. O próprio Newton não ousou fazê-lo.

Contudo, o que é mais importante, mais bonito na ciência, é esse movimento, esse poder de ir e vir. Não devemos acreditar nunca que chegamos à verdade última: ela é sempre refratária. Ao redigir este trabalho, esforcei-me para torná-lo claro para o maior número possível de leitores, para que os mesmos possam partilhar um pouco da paixão intelectual que me motivou a escrevê-lo. Comunicar essa paixão e suas razões foi o que me motivou.

Referências

Abrantes, P. *Imagens de natureza, imagens de ciência*. 1ª ed., São Paulo Papirus, 1998.

¹⁰ NEWTON, *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, Escólio, Livro I, p.45.

¹¹ NEWTON, *op. cit.*

- Andrade, E. M. P. de. Ação a Distância e Não-Localidade, Tese (doutorado) – IQ/UFRJ/HCTE, Programa de Pós-graduação em História da Ciência e das Técnicas e Epistemologia, 2009. Rio de Janeiro: UFRJ/IQ.
- Andrade, E. M. P, FABER, J., SIQUEIRA-BATISTA, R., ROSA, L. P. “Éter: uma necessidade contingente?”. In: Livro de Anais, Scientiarum Historia II, Ed. Oficina de Livros, Rio de Janeiro, Brasil – 2009.
- Bachelard, G. *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. 2ª ed., Rio de Janeiro, Contraponto, 1996.
- Barra, E. “Em que Sentido Newton Pode Dizer ‘*hypotheses non fingo*’?”. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, série 3, 5(1/2):221-245, 1995.
- Bunge, M. *Física e filosofia*. 1ª ed., São Paulo: Perspectiva, 2000.
- Cohen, I.B. *The Newtonian Revolution: with illustration of the transformation of scientific ideas*. Cambridge: Cambridge University Press, 1980.
- Einsten, A. Ether and the Theory of Relativity. Maio, 1920. Disponível em: < http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Extras/Einstein_ether.html > Acesso em: 21 mar. 2009.
- Feynman, Leighton, Sands. *Lectures on Physics*. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts. 1977.
- Galileu, G. In: Coleção Os Pensadores. São Paulo: Abril Cultural, 1973. pp.93-98
- Coleção Os pensadores, vol. XV. Trad. J. Guinsburg e Bento Prado Jr. São Paulo: Abril Cultural, 1973
- Kant, E. Prolegómenos a Toda a Metafísica Futura. Lisboa: Ed. Edições 70, 2008.
- Koyrè, A. O Significado da Síntese Newtoniana. In: Cohen, B. I., Westfall, S. R. (org.). *Newton: Textos, Antecedentes e Comentários*. Rio de Janeiro: EdUERJ e Contraponto, 2002, pp.84-100.
- Moraes, A., Reis, J. C., Braga, M. Faraday e Maxwell e a nova realidade do eletromagnetismo. Rio de Janeiro: Editora Atual, 2004.
- Newton, I. *The Principia (Mathematical Principles of Natural Philosophy – A New Translation)*. In: I. Bernard Cohen and Anne Whitman (ed.). Los Angeles: University of California Press, 1999.
- . De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum. In: Hall, R. A., Hall, B. M. (ed.). *Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 1978, pp. 121-148.
- . *Optique*. Paris: Christian Bourgeois Editeus, 1989.
- . Do Escólio Geral. In: Cohen, B. I., Westfall, S. R. (org.). *Newton: Textos, Antecedentes e Comentários*. Rio de Janeiro: EdUERJ e Contraponto, 2002, pp. 154 – 155.
- . Quatro Cartas a Richard Bentley. In: Cohen, B. I., Westfall, S. R. (org.). *Newton: Textos, Antecedentes e Comentários*. Rio de Janeiro: EdUERJ e Contraponto, 2002, pp. 400 – 411.

----- . Correspondências com Cotes e Oldenburg. In: Cohen, B. I., Westfall, S. R. (org.). *Newton: Textos, Antecedentes e Comentários*. Rio de Janeiro: EdUERJ e Contraponto, 2002, pp. 155 – 158.

----- . Algumas Questões Filosóficas. In: Cohen, B. I., Westfall, S. R. (org.). *Newton: Textos, Antecedentes e Comentários*. Rio de Janeiro: EdUERJ e Contraponto, 2002, pp. 22 – 30.

----- . Questões 1-7 e 31. In: Cohen, B. I., Westfall, S. R. (org.). *Newton: Textos, Antecedentes e Comentários*. Rio de Janeiro: EdUERJ e Contraponto, 2002, pp. 61 – 81.

Pessoa, O. Jr. *Revolução Científica e a Filosofia de Descartes*. 2004.